



# Une analyse cognitive de la perception de la coopération forme-mouvement dans les animations virtuelles

Amel Achour Benallegue, Annie Luciani, Ali Allaoui, Saman Kalantari

## ► To cite this version:

Amel Achour Benallegue, Annie Luciani, Ali Allaoui, Saman Kalantari. Une analyse cognitive de la perception de la coopération forme-mouvement dans les animations virtuelles. AFIG 2012 - 25e Journées de l'Association Française d'Informatique Graphique, Nov 2012, Calais, France. pp.151-159. hal-00827551

**HAL Id: hal-00827551**

**<https://hal.science/hal-00827551>**

Submitted on 17 Oct 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

# Une analyse cognitive de la perception de la coopération forme-mouvement dans les animations virtuelles

Amel Achour Benallegue\*\*  
a.achour.benallegue@gmail.com

Annie Luciani\*  
Annie.Luciani@imag.fr

Ali Allaoui\*+  
Ali.Allaoui@imag.fr

Saman Kalantari\*  
Saman.Kalantari@imag.fr

\*Laboratoire ICA, Institut Polytechnique de Grenoble, France

† Institut Jean Le Rond d'Alembert, Paris, France

+laboratoire XLIM, CNRS, Université de Poitiers, France

---

## Résumé

Dans ce travail, nous présentons des expériences psychocognitives sur le comportement cognitif humain face à une nouvelle génération d'animations virtuelles. Ces animations sont basées sur des mouvements synthétisés par modélisation physique, ainsi que sur des formes synthétiques appliquées a posteriori sur ces mouvements. La nouveauté de ces animations consiste dans l'association de deux types complémentaires d'éléments : d'une part, le mouvement qui présente une dynamique cohérente et réaliste car il est produit par modèle physique, et d'autre part, les diverses formes appliquées à ce mouvement qui peuvent être réalistes ou non réalistes. A l'aide de ce processus, nous avons créé des animations inhabituelles. A travers ces expériences, nous étudions l'impact de ces animations insolites sur la perception et la cognition humaine. Cela a conduit à une première série d'observations du comportement humain et aux premiers résultats sur la perception et la cognition humaine face à ces nouveaux stimuli perceptifs. Principalement, notre approche est d'expérimenter la posture perceptive créative des sujets humains confrontés à de nouveaux types d'animations artistiques.

## Abstract

In this work, we carried out psychocognitive experiments about the human cognitive behavior faced to a new generation of virtual animations. These animations are based on motion synthesized by means of physical modeling, and synthetic shapes mapped on the so produced movements. The novelty of these animations is that we associated two complementary kinds of figures: on one hand, the movement, as it is built using physical models, which presents realistic and coherent dynamics, and on the other hand, various non realistic shapes that are mapped on them. With this process, we created paradoxical and questioning animated pictures. Through the experiments, we are investigating the impact of these unusual animations on the human perception and cognition. This led to a first set of human's behavior observations and some first results on human cognition and perception faced to such new perceptive stimuli. Mainly, our approach is to experiment the creative perceptual posture of human subjects confronted to novel types of artistic animations.

---

**Mots clés :** Animation par ordinateur, modélisation physique, perception du mouvement, perception de la forme, études comportementales, coopération forme-mouvement, multimodalité, psychologie cognitive.

## 1. Hypothèse principale : L'animation comme un phénomène multimodal

Hormis lorsqu'il s'agit de méthodes très intégrées telles que la des éléments finis [O'Brien et al. 2002] pour la modélisation physique des formes et des mouvements, les logiciels d'animation implémentent usuellement la séparation entre les formes 3D et le mouvement. En effet, dans les plus grands produits commercialisés tel que Maya [Autodesk 2009], les utilisateurs conçoivent d'abord les formes 3D, puis y ajoutent le mouvement. Symétriquement, dans les processus de capture de mouvement, le mouvement est d'abord produit, pour être ensuite appliqué à différentes formes de synthèse 3D. Dans le présent travail, le mouvement est produit en premier, mais au lieu qu'il soit capté, il est généré par modélisation physique. On obtient ainsi une plus grande variété de mouvements que si ceux-ci étaient captés, tout en conservant une certaine consonance

réaliste. Plutôt que d'associer ces mouvements à des formes qui leur seraient naturelles – par exemple celles des objets du monde réel susceptibles de produire ce mouvement, nous avons opté pour l'application sur ces mouvements, des formes, qui pouvaient être quelconques, réalistes ou plus abstraites. Nous obtenons ainsi une plus grande variété de données à faire percevoir. Les animations obtenues sont alors des artefacts produits par un « *mapping* » arbitraire entre le mouvement virtuel basé sur la modélisation physique et un ensemble de formes graphiques de synthèse. Par conséquent, il s'agit d'une nouveauté perceptive et cognitive dans laquelle, du point de vue perceptif, le mouvement pourrait se rapporter à la réalité, bien que les formes et leur association avec le mouvement puissent ne pas y faire référence. Il est alors intéressant de confronter ces nouveaux objets de perceptions à la perception humaine et d'observer dans un premier temps avant de passer éventuellement à des observations plus précises, les comportements des personnes. Pour ce faire, nous avons procédé à des expérimentations cognitives en utilisant des méthodes qualitatives, notamment l'utilisation d'entretiens semi-structurés et l'approche d'analyse de contenu. Les stimuli visuels utilisés

dans ces expériences étaient donc des animations virtuelles produites par ce nouveau processus de construction d'animations. Dans ce qui suit, nous présentons d'abord le protocole expérimental dans ses aspects théoriques et pragmatiques, puis le matériau perceptif conçu composé de cinq séries d'animation, et enfin nos résultats sur l'analyse de la perception et les comportements cognitifs de 10 sujets confrontés à ces animations.

## 2. Expériences psychocognitives

Notre hypothèse est que la réassociation en partie arbitraire entre des mouvements et des formes qui sont produits séparément est source de comportements créatifs. Dans le cas exposé ici, ces comportements viendraient de la perception puisque les sujets n'agissent pas sur ce qui leur est présenté. Pour déterminer l'impact de cette réassociation sur la perception humaine et sur les comportements humains, nous avons donc élaboré une série d'expériences psychologiques et cognitives que nous présentons dans les paragraphes suivants.

### 2.1 Méthode

La perception visuelle des images animées virtuelles présentant des associations paradoxales entre la forme et le mouvement constitue un champ de recherche véritablement nouveau, car possible uniquement avec les technologies de la synthèse numérique. L'impact pourrait être important, particulièrement dans les aspects créatifs liés à ce type de nouvelles images. Par conséquent, le domaine de recherche approprié pour la présente étude, parmi plusieurs approches relevant du cadre des études du comportement humain, est celui lié à l'«approche exploratoire». Cela signifie que nous supposons que la connaissance est encore très limitée et que nous devons explorer d'abord les comportements humains pour découvrir les catégories et les invariants possibles. En outre, le contexte théorique est orienté «phénoménologie», en ce sens que nous n'explorons pas ici des thèmes comme l'acquisition de connaissances abstraites mais nous cherchons à identifier les grandes lignes comportementales de sujets face à des images. Pour ces raisons, nous avons choisi des méthodes de recherche dites «qualitative», et dans ce domaine, plus spécifiquement celles s'intéressant aux points de vue subjectifs [Flick 2000]. Le choix d'une méthode qualitative conduit à choisir à la fois une technique de collecte de données et une méthode d'interprétation. D'une part, nous avons basé notre recherche sur des entretiens ouverts : entretiens semi-structurés et entretiens narratifs [Flick 2000]; d'autre part, nous avons eu recours à la méthode dite «d'analyse de contenu» [Flick 2002] qui est la méthode la plus utilisée dans l'analyse d'entretiens [Henry et al. 1968] [Flick 2000] [Hancock 2002]. L'analyse de contenu est un processus qui conduit à une catégorisation des données verbales ou comportementales, afin de proposer des classifications, des résumés et des tabulations [Hancock 2002]. L'idée de base est d'identifier, à partir des transcriptions textuelles de discours, les données qui sont informatives en quelque sorte et de trier les messages importants cachés dans la quantité de données de chaque entrevue [Hancock 2002]. L'analyse de contenu se compose alors en deux étapes principales : la catégorisation et l'interprétation.

### 2.2 Protocole expérimental

Le protocole expérimental doit tout d'abord veiller à ce que les discours des sujets humains, face aux vidéos, soient les plus riches possibles. Les principaux niveaux de discours doivent

avoir été adressés par le sujet. Nous avons ainsi veillé à ce que les quatre niveaux de discours suivants, au minimum, apparaissent dans ce que disent les sujets durant l'expérience: le «niveau de la sensation», le «niveau de l'évocation», le «niveau de l'imagination» et le niveau lié à la relation établie avec les images qui relève de l'énaction [Stewart et al. 2010]. Le «niveau de la sensation» se réfère à toutes les descriptions sensorielles, le «niveau de l'évocation» à ce que les images rappellent, telles les expériences passées, le «niveau de l'imagination» à des représentations fictionnelles. Et enfin, le «niveau de l'énaction» concerne les processus d'incorporation et d'implication du sujet face aux stimuli.

### 2.3 Entretiens

Les expériences ont consisté à effectuer des entretiens dits «libres» avec des personnes, au lieu d'entretiens orientés par des questions, voire des questionnaires précis de type QCM. Nous demandons à chaque personne de regarder plusieurs paires de vidéos conçues, chaque paire contenant le même mouvement, visualisé de deux manières différentes. Lors de la visualisation des vidéos, les personnes sont invitées à s'exprimer à haute voix sur ce qu'ils voient. Cette expression est stimulée par un interviewer dont l'objectif est d'obtenir le discours le plus riche possible au moins sur chaque niveau attendu. Cet interviewer doit néanmoins resté dans une posture neutre et des consignes lui sont données dans ce sens, telles que par exemple : il / elle ne donne aucune indication sur comment les scènes ont été produites ni à quoi elles pourraient correspondre ; il / elle doit utiliser uniquement des termes qui ont déjà été introduits par le sujet ; il / elle doit respecter les silences ; il / elle doit informer qu'il n'y a pas de bonne ou mauvaise réponse, de manière à éviter les comportements dits «opportunistes» ; il / elle peut inciter à «penser tout haut», comme si le sujet était seul, etc. Nos expériences ont porté sur 10 sujets et 29 animations, aboutissant à 14 heures d'entretiens. Les sujets ont été choisis parmi différentes catégories sociales (chercheurs, personnel administratif, musiciens, étudiants) de 22 à 43 ans, dont plus de 60% étaient grand public non expert en informatique graphique.

Avant d'aborder le processus d'analyse des entretiens, nous présentons dans le paragraphe suivant, les modèles qui ont servis à produire les animations.

## 3. Description des modèles

L'idée principale consiste à habiller le mouvement avec des formes différentes suivant trois phases différentes: (1) une phase topologique permettant l'association du mouvement à une entité topologique, ainsi que la définition des changements topologiques au cours de l'animation, (2) une phase géométrique et (3) une phase de rendu visuel. Une animation est une combinaison de tous ces choix. Afin d'être neutre, lorsque les sujets humains sont confrontés aux séquences animées, chaque animation a été marquée par un identifiant neutre qui n'a pas de sens pour le sujet, mais qui est utile pour l'interviewer, au cas où il serait amené à changer l'ordre de passage des séquences en fonction du comportement du sujet. Par exemple, dans la séquence animée appelée par l'identificateur : P03T01G01R00, P03 représente un modèle physique spécifique (ici, le troisième de la série conçue), T01 représente la première configuration en terme de topologie, G01 la première forme géométrique et R00 le rendu numéro 00.

Dans le paragraphe suivant, nous présentons les 5 modèles physiques du mouvement habillés par des formes différentes, développés pour nos expériences.

### 3.1 Principes de modélisation

Le premier élément réalisé dans les animations virtuelles est le modèle physique du mouvement. Le modèle physique est construit en utilisant le logiciel MIMESIS [Evrard et al. 2006], qui est dédié à la synthèse du mouvement par simulation de modèles physiques masses – interaction selon le formalisme CORDIS-ANIMA. Le modèle est conçu en créant des composants structuraux : les masses appelées MAT et les interactions entre elles représentées par des liens physiques appelés LIA. Ces liens décrivent des interactions élastiques et visqueuses, linéaires ou non linéaires, entre les masses.

Le second élément qui définit l'animation virtuelle est l'habillage du mouvement. Les mouvements sont habillés soit en utilisant les fonctionnalités de MIMESIS pour la création des formes qui sont des primitives géométriques classiques de base, soit en utilisant des formes plus complexes conçues avec d'autres logiciels comme MAYA ou POV-Ray par exemple. Certaines séquences peuvent présenter des évolutions topologiques dynamiques comme décrit dans [Darles et al. 2011]. Le procédé d'habillage consiste à associer une partie des masses du modèle physique à des points géométriques, puis à concevoir des formes à partir de ces points. Les formes peuvent être aussi diverses que des lignes, des surfaces, des volumes élémentaires, ou des représentations plus complexes tels que des surfaces avec déchirure.

Il est important de préciser qu'il n'y a pas nécessairement d'isomorphisme entre les formes et le mouvement. Ainsi, certaines masses peuvent être non visualisées car non associées à des points géométriques et des points géométriques peuvent être ajoutés dans l'habillage.

### 3.2 Animation 1 : “Les boules suspendues”

Le modèle physique I, appelé "boules suspendues" est composé de 5 masses en collision suspendues à des fils déformables. Il a été associé à 4 visualisations réalisées sur Maya (Figure 1).

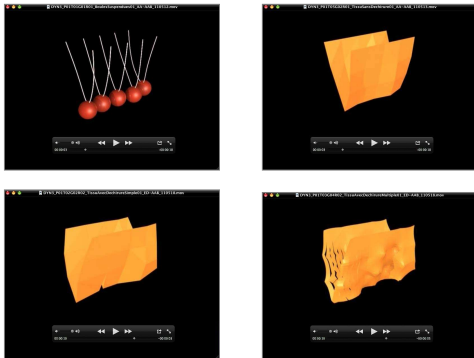


Figure 1 : Quatre visualisations du modèle “balles suspendues”.

Sur le premier (en haut – à gauche), le modèle topologique se compose de 5 objets séparés. Le modèle géométrique est composé de fils et de sphères. Les textures et les couleurs sont ajoutées aux formes afin de former le rendu final. Les trois autres représentations visuelles sont basées sur différents modèles topologiques réalisés avec le logiciel MORPHOMap [Darles et al. 2011]. En haut - à droite, un maillage de Voronoï est construit sur la base des masses des fils et des boules suspendues. En bas, à l'aide de MORPHOMap, nous avons introduit des changements topologiques décrivant une

déchirure : une seule déchirure à gauche, des déchirures multiples à droite. Pour résumer, un seul mouvement utilisant des masses suspendues et qui se balancent en s'entrechoquant est visualisé par (1) des sortes de cerises suspendues, (2) une double surface liée par le bas ; (3) une double surface avec déchirement sur les deux faces ; (4) une double surface avec de multiples déchirements sur une seule face.

### 3.3 Animation 2 : “La barre fracturable”

Le modèle physique II appelé «barre fracturable» est un modèle masses-interactions d'une barre susceptible de se fracturer associé à 4 visualisations. Le modèle physique [Darles et al. 2011] est composé d'un ensemble de masses liées par des interactions viscoélastiques, à l'exception du centre de la barre au niveau duquel les interactions sont des interactions de cohésion irréversibles [Luciani et al. 1997].

La première et la deuxième visualisation (figure 2, en haut) sont basées sur l'habillage direct fourni par MIMESIS. Toutes les masses sont représentées par de petites sphères rouges. Sur la gauche, seulement les interactions viscoélastiques sont représentées par des lignes blanches. Ainsi, avec cette visualisation, nous remarquons une sorte de barre cassée en deux parties. Sur la droite, les interactions de cohésion irréversible qui vont causer la rupture de la barre en son milieu sont également représentées par des lignes blanches. Ainsi, ce que l'on voit est une large déformation élastique au milieu de la barre.

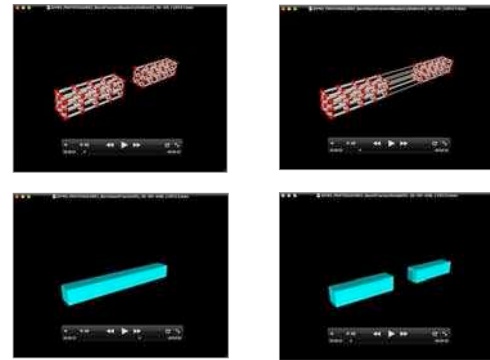


Figure 2 : Quatre visualisations du modèle “barre”.

La troisième et quatrième visualisation (figure 2, en bas) ont été conçues avec Maya. Elles sont basées sur un modèle géométrique simple d'une barre pleine qui, sur l'image de gauche ne se casse pas, mais qui se brise sur l'image de droite. Les masses ne sont pas visualisées.

### 3.4 Animation 3 : “les deux surfaces”

Le modèle III est appelé «les deux surfaces». Le modèle physique est composé de deux surfaces viscoélastiques physiquement indépendantes. Sur la figure 3 en haut à gauche, on peut voir la visualisation directe des deux structures avec des lignes représentant chaque interaction physique et donc où le mouvement des sommets est celui des masses.

Il n'y a pas d'interaction entre les deux surfaces, donc il n'y a pas de lignes entre les deux surfaces. Dans cette visualisation, la topologie visuelle reproduit la structure physique. Dans les trois autres visualisations, l'habillage consiste à créer des lignes entre les masses des deux surfaces, c'est à dire là où il n'y a pas d'interaction physique.

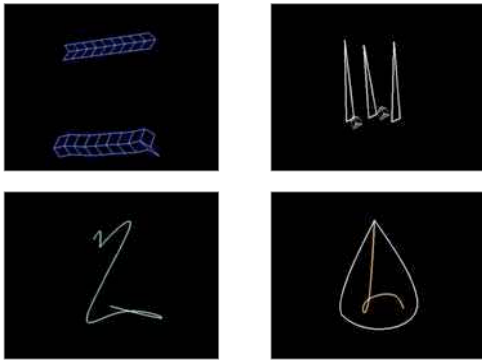


Figure 3 : Quatre visualisations du modèle "deux surfaces".

Sur la partie supérieure droite de la figure 3, trois triangles sont présentés dont un sommet est pris sur la surface physique supérieure, et les autres sont choisis dans la surface physique inférieure. Les triangles forment donc trois "objets" qui n'existent pas dans le modèle physique initial. En outre, deux petites formes indépendantes sont rajoutées sur la surface inférieure. Suivant la même idée, en bas à droite et à gauche de la figure 3, nous avons conçu des lignes ondulées qui lient certains des masses de la surface supérieure avec quelques autres de la surface inférieure. La forme est donc une courbe continue reliant certaines masses de la surface du haut et d'autres de la surface du bas. Chaque visualisation donne une représentation visuelle très différente du modèle physique initial.

### 3.5 Animation 4 : "The double pendule"

Le modèle IV appelé «double pendule» contient 6 masses reliées par des interactions visco-élastiques comme dans une sorte de double pendule fixé à un plafond.

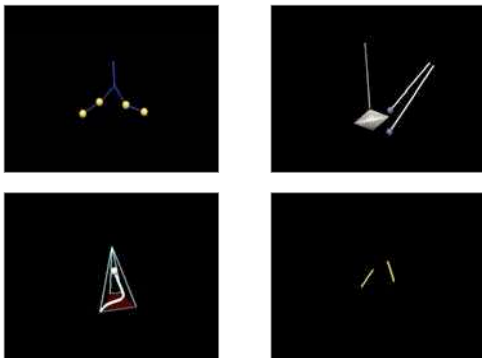


Figure 4 : Quatre visualisations du modèle "double pendule".

La première visualisation (en haut à gauche de la figure 4) correspond à la structure du modèle physique. Nous pouvons voir les différentes masses et leurs interactions. Sur les autres visualisations, nous avons habillé le mouvement en ajoutant ou en supprimant des formes. Dans la visualisation en haut à droite de la figure 4, nous avons ajouté deux points fixes afin de dessiner les deux lignes visibles sur la droite. Deux des masses sont représentées par des sphères bleues. Les deux autres sont représentées par un superellipsoïde. Dans cette visualisation, le mouvement du double pendule est appliqué sur trois "objets" avec des formes différentes. Ces formes ne rappellent pas la structure du double pendule.

Dans la visualisation présentée sur la partie inférieure gauche de la figure 4, le mouvement du double pendule est appliqué sur un seul «objet». L'habillage consiste à utiliser 4 masses du double pendule pour dessiner le rectangle rouge. Ensuite, les triangles sont formés en reliant ces masses à un point fixe. La masse restante du modèle du mouvement est représentée par la petite sphère blanche. Le mouvement des formes peut rappeler le pendule, mais plusieurs déformations résultent de cette nouvelle configuration de formes. Enfin, en bas à droite de la figure 4, on a représenté seulement deux lignes, chacune d'elles reliant deux masses.

### 3.6 Animation 5 : "Le Blobby"

Le modèle V a été appelé «le blobby». Le modèle physique est composé d'une sorte de surface déformable de 16 masses reliées par des interactions viscoélastiques. La surface est mise en mouvement par une autre masse qui vient frapper la surface. Sur la première visualisation (en haut à gauche de la figure 5), on peut deviner la structure physique de la surface où les masses correspondent aux sommets de la grille. Du point de vue topologique, cette visualisation est représentée par une seule entité topologique. La masse qui vient frapper la surface n'est pas visualisée.

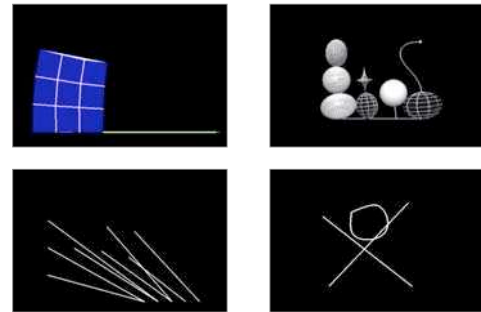


Figure 5 : Quatre visualisations du modèle "Blob".

La figure 5, en haut à droite, représente une série de sphères et de superellipsoïdes appliqués sur le modèle du mouvement selon un schéma de multiples composants connectés. Un groupe de masses est masqué et un autre groupe est représenté par des sphères ou par des superellipsoïdes. Les superellipsoïdes sont construits en utilisant des paires de masses. De même, la troisième image (en bas à gauche) se compose de plusieurs entités topologiques indépendantes mais les formes géométriques sont des lignes au lieu de sphères et de superellipsoïdes. Dans le quatrième point de vue (en bas à droite), quatre masses sont reliées par deux lignes qui se croisent et quelques autres sont reliées pour constituer une sorte d'anneau. Plusieurs masses ne sont pas visibles et la topologie et la géométrie sont totalement différentes de celles des visualisations précédentes.

## 4. Analyse perceptive et cognitive

Tous les modèles présentés constituent le matériau utilisé comme stimuli pour les sujets humains au cours des entretiens. Ces entretiens ont été enregistrés sur un support audiovisuel puis transcrits mot à mot. Le texte intégral de ces transcriptions constitue le principal matériau à analyser. La première et principale étape de la démarche d'analyse de contenu, telle que nous l'avons présentée précédemment, est le processus de catégorisation. Il consiste à définir un ensemble de catégories

issues des matériaux disponibles – ici les textes transcrits des discours des sujets ), et de permettre une structuration sémantique de ces textes pour d'autres analyses plus approfondies. Dès lors que les catégories sont établies, les transcriptions sont analysées à partir d'elles. Pour chaque transcription, plusieurs étapes doivent être suivies : annotations et instanciations, regroupement et synthèse, et enfin extractions des éléments des comportements des sujets, réputés significatifs par cette grille de processus.

#### 4.1 Catégorisation

Comme indiqué précédemment, l'étape cruciale, dans ce genre de méthode, est le processus de catégorisation. Dans le présent travail, nous avons établies nos catégories en suivant un processus itératif. Cela correspond à l'approche de la « *grounded theory* » qui constitue, avec l'approche déductive, les deux principales approches d'analyse de contenu [Hancock 2002]. Dans la *grounded theory*, les catégories ou les concepts émergent d'une phase d'analyse sont comparés avec ceux qui émergent de l'étape précédente, jusqu'à obtenir une convergence des catégories.

Les catégories sont issues d'une série de questions spécifiques qui se rapportent à différents aspects constituant le comportement humain. Sachant que, conformément à l'approche de la *grounded theory*, les questions ont été établies et développées progressivement, nous commençons par élaborer une série de questions, puis nous les regroupons en un quelques ensembles. Le tableau 1, présenté ci-dessous, synthétise nos résultats issus du processus de catégorisation: (1) les questions (colonne de droite et souligné), suivies dans la même colonne par leurs significations (en italique), et (2) leur regroupement à travers les catégories que nous avons progressivement déterminées (dans la colonne de gauche).

Catégories	Questions correspondantes / sens
Description	<u>Sur quoi porte l'observation ?</u> <i>Ça peut être l'apparence ou le comportement de la scène ou n'importe quelle sensation sensorielle que le sujet ressent face à la séquence visuelle.</i>
Évocation	<u>Est-ce que ça rappelle des choses ?</u> <i>Toute analogie avec le monde réel que la séquence visuelle rappelle.</i>
Imagination	<u>Est-ce que ça engendre des récits ?</u> <i>Formation d'éléments dérivés de perceptions sensorielles de l'existence commune.</i>
Invention	<u>Est-ce que ça engendre de nouveaux concepts ?</u> <i>Imagination de nouveaux concepts non existants, de nouvelles configurations insolites.</i>
Abstraction	<u>Est-ce que ça pousse à la conceptualisation ?</u> <i>Formulation de la situation sensorielle en conceptions abstraites, ça peut être des références aux causes en amont des phénomènes perçus ou à des entités primitives à partir desquelles découleraient les entités observées, ou toutes autre forme d'abstraction.</i>
Simulation mentale	<u>Est-ce que ça pousse à trouver des solutions aux problèmes rencontrés ?</u>

	<i>Ça peut être une interprétation, une invention de nouveaux concepts. C'est une forme d'imagination qui consiste à déduire des solutions en réponse à des situations problématiques à partir de simulation mentale de la situation.</i>
Dynamique du rapport à la séquence visuelle (l'image) / incarnation (Embodiment)	<u>Quelle est la dynamique entre la personne et la vidéo ?</u> <u>Comment évolue la relation entre le sujet et la vidéo ?</u> <u>Quelles sont les possibilités d'action ou de réflexion causées par la séquence visuelle ?</u> <i>Rapport du sujet avec la séquence visuelle (intérêt, rejet, indifférence, attraction...) et son évolution durant le processus d'exploration.</i> <i>Parfois, elle fait appel au ressenti, à l'émotion et à l'interaction sensori-mentale.</i>
Paradoxes et ambiguïtés	<u>Est-ce que l'observation de la vidéo engendre des paradoxes ?</u> <i>Les représentations ou les affirmations contradictoires, ou bien, celles de son comportement perceptif ou de ses inférences contradictoires. Elle fait appel à la logique.</i>
Limitations et difficultés	<u>Quelles sont les limites et les difficultés :</u> <u>Les contraintes et les blocages auxquels la personne est confrontée ?</u> <i>Les éléments qui entravent le sujet dans l'avancement de son idée.</i>
Idée conductrice	<u>Qu'est ce qui est à la base de la pensée exprimée ?</u> <i>Les concepts clés que le sujet fait intervenir dans toutes ses réflexions.</i>
Questionnement	<u>Est-ce que ça pose des questions ?</u> <u>Quel type de question est posé ?</u> <i>Les problématiques autour desquelles le sujet fonde son raisonnement, ainsi que les interrogations suscitées par l'image.</i>
Objectif	<u>Quel est l'objectif recherché ?</u> <i>La cible dressée par le sujet.</i>
Stratégie de raisonnement	<u>Quelle est la stratégie suivie ?</u> <u>Quelles sont les réactions face aux questions que la personne se pose et aux paradoxes qu'elle détecte ?</u> <i>La démarche du raisonnement du sujet. Elle peut être déduite à partir de toutes les autres catégories. Toutefois, nous remarquons que quelques expressions des sujets sont directement reliées à la stratégie de raisonnement.</i>
Influence forme-mouvement	<u>Quelles sont les influences des deux modalités : forme et mouvement sur la perception de la personne ?</u> <i>Retrace la modalité dominante dans la perception, ça peut être des affirmations directes des sujets ou bien des conclusions d'un ensemble d'affirmations ou de comportements.</i>
Association forme-	<u>Comment est perçue l'association de la forme et du mouvement ?</u>

mouvement	<i>La compatibilité de la forme avec le mouvement.</i>
Rapprochement de la réalité objective	<i>Les inférences sont elles proches de la construction réelle des vidéos ? Les inférences pouvant indiquer un rapprochement avec la réalité de la construction des séquences visuelles.</i>

**Table 1:** Questions et catégories conçues à partir du discours des sujets selon la grounded theory.

## 4.2 Annotation et instantiation

La confrontation de ces catégories avec les discours des sujets consiste dans l'annotation du texte et l'instanciation des catégories à partir du discours transcrit.

Afin d'annoter le texte clairement, nous avons choisi une représentation des catégories par un code couleur. L'instanciation des catégories se fait par le surlignage des paragraphes avec la couleur de la catégorie à laquelle ils se réfèrent. Par exemple, la catégorie «description» est instanciée par un surlignage jaune des phrases correspondantes; la catégorie «évoque» est représentée par la couleur verte, etc. Le texte de chaque transcription a été annoté de cette façon. Certaines catégories ne sont pas nécessairement présentes dans le discours, mais peuvent être détectées grâce à la mise en relation d'un ensemble de citations. Ce sont principalement les catégories suivantes: «Questionnement», «Objectif» et «Stratégie de raisonnement».

Les paragraphes les plus importants qui sont annotés sont regroupés selon les catégories conçues ci-dessus. Ceci est utile pour cerner l'idée générale du discours des sujets en termes de chaque catégorie. La synthèse de toutes les instanciations et les annotations conduit à déterminer le comportement cognitif du sujet face aux vidéos, ce qui permet d'esquisser la stratégie d'exploration du sujet. Particulièrement, l'interprétation des discours par l'annotation et l'instanciation se fait en termes de comportements, des propriétés prédominantes de l'image, et de la distance entre les inférences des sujets et l'implémentation objective des objets virtuels.

La comparaison entre toutes les analyses de toutes les transcriptions nous a permis d'obtenir des observations générales sur le comportement cognitif humain émergeant face aux animations virtuelles proposées.

## 5. Résultats expérimentaux

L'analyse des expérimentations nous a conduit à des observations qui ont été divisées en deux classes principales :

- Celles liées aux comportements communs à tous les sujets.
- Celles liées aux influences respectives du mouvement et des formes sur la perception humaine.

Il y a également une troisième classe de taille moindre et qui concerne la comparaison avec l'objet virtuel réellement implémenté.

### 5.1 Observations sur le comportement global commun

Selon l'analyse effectuée sur tous les sujets, nous avons constaté que certaines réactions et inférences sont similaires chez tous les participants, ce qui correspond donc à un comportement commun.

La première observation principale est que, malgré nos craintes que les participants soient gênés face à ces vidéos

étranges et souvent abstraites, tous les participants ont été très intéressés à l'unanimité, sont restés plus d'une heure devant les vidéos de l'expérience et pour beaucoup étaient prêts à y passer plus de temps encore. La deuxième observation globale est que les participants ont unanimement considéré que les animations étaient "intrigantes". Quand ils ont détecté certains types de paradoxes ou d'étrangetés, leur curiosité a fortement augmenté. Voici quelques citations de certains participants : « *En fait ça pose des questions sur le type de matière et sur le type de réaction, sur ce que ça peut être encore une fois* », « *ça fait un peu réfléchir puisqu'on ne sait pas trop dans quel sens il tourne* ».

Suivant ces interrogations, les participants ont construit une, voire plusieurs, scène(s) hypothétique(s) plausible(s) et ont tenté de la (les) reconnaître dans les vidéos de plusieurs manières. Cette observation confirme les résultats présentés dans [Luciani et al. 2007]. Cet objectif de reconnaître la scène hypothétique est plutôt explicite : « *j'essaie de reconnaître ce que c'est...Je pose la question, oui, par curiosité, qu'est ce que ça pourrait être* ».

Globalement, nous avons relevé quatre types de quêtes:

- Identification.
- Interprétation.
- Compréhension du comportement de l'image animée.
- Compréhension du but de l'image animée.

Nous avons pu classer ces interrogations en deux comportements principaux :

- La référence au monde réel en recherchant des objets et des situations réels qui pourraient produire des animations similaires à l'animation observée.
- L'exploration d'images par un raisonnement « abstrait », nous entendons par là non nécessairement ancré dans le réel ou des expériences antérieures déjà vécues.

Le premier comportement est le plus répandu. La plupart des participants tentent d'identifier les images animées selon les objets et les phénomènes qui existent dans le monde réel. Par exemple : « *là, il est assis parce que pour moi les gens sont à l'horizontale, donc, il est posé sur une grande balançoire* ». Parfois, ces références au monde réel définissent la nature de la relation et de l'interaction que le sujet peut avoir avec l'animation, par exemple : « *je le trouvais moins perturbant parce que j'avais une référence... pfff, on dirait vaguement des ailes de papillon de loin et puis après ça devient trop n'importe quoi* ».

Dans le deuxième comportement, les participants tentent de comprendre les images animées dans leur caractère propre. En d'autres termes, ils se focalisent sur les formes géométriques et/ou le comportement dynamique des vidéos. Les références au monde réel apparaissent de manière discrète et ne sont pas première dans la motivation des sujets. Ce mode de raisonnement est souvent ancré sur les phénomènes observés eux-mêmes, par exemple : « *Au début, ils sont vraiment en opposition de phase, et après, ils ont l'air de se synchroniser ensemble* ».

En parallèle à ces deux approches principales, les sujets expriment généralement leurs premières observations par la description, l'évoque et l'imagination. Les proportions des trois registres de discours dépendent de la démarche propre à chacun. La recherche d'équivalents dans le monde réel fait intervenir l'évoque et l'imagination de manière plus accentuée.



D'après l'étude du comportement et des réactions des sujets, nous pouvons structurer le comportement cognitif en deux étapes communes à tous :

- 1) L'étape de la *constatation* où les sujets construisent une idée d'une scène qui pourrait correspondre à la vidéo observée, à partir de la description, l'évocation et l'imagination.
- 2) L'étape de comparaison avec des schémas cognitifs. Dans cette étape, la personne confronte l'idée préalablement construite durant l'étape de constatation avec les schémas de connaissances personnelles acquises par le passé. Cette comparaison peut conduire à une «compatibilité» ou une «incompatibilité».

Ces deux étapes ne sont pas explicites dans le discours des sujets, mais peuvent être approchées à travers tout le processus cognitif. Pour illustrer ce processus cognitif, prenons l'exemple d'un participant lorsqu'il a constaté une matière donnée avec des caractéristiques particulières mais qu'il n'a pas retrouvées dans son schéma cognitif où sont stockées, entre autres, toutes les représentations de cette matière préalablement observées. Il a dit : *« Sur ça, je peux mettre l'origami, je peux mettre cette forme de pliage de papier mais en même temps, la manière dont ça me paraît extensible. Ça pourrait aussi me faire penser à une éponge. Mais les éponges souples, quand elles ne sont pas encore complètement gonflées mais des formes de caoutchouc. Des formes de caoutchouc qui seraient couplées avec du papier, ça je ne connais pas »*.

### 5.1.1 Évaluation de la comparaison avec les schémas cognitifs préalables

Suivant le résultat de l'évaluation élaborée cognitivement par la comparaison des constatations avec les schémas cognitifs, les personnes ont différents comportements selon que ce résultat est compatible ou non. Dans le cas où il y a compatibilité, les sujets émettent des hypothèses et des conclusions sur l'objet de l'image et son comportement. Dans le cas où il n'y a pas de compatibilité, les sujets se trouvent face à des paradoxes et/ou à de l'incompréhension. Les hypothèses et conclusions peuvent prendre plusieurs formes, comme une réponse à une question, une explication d'un phénomène, une cause d'un comportement, etc. Les participants se retrouvent souvent dans des situations d'incompréhension. Toutefois, ces situations conduisent les sujets à une curiosité et interrogations plus grandes. Par exemple : *« Pourquoi elles arrivent ? À quel moment elles arrivent ? Est-ce qu'elles étaient là auparavant ? »*. Par conséquent, pour remédier à cette situation d'incompréhension, ils cherchent à entrer dans une sorte de relation évolutive avec les animations présentées, les amenant à évoluer, à observer plus de détails, à se poser des questions, à revoir les vidéos, etc. Au cours de ces explorations actives, les sujets peuvent se heurter à des sortes de paradoxes, particulièrement lorsqu'ils détectent des aberrations ou des ambiguïtés. Ceci peut arriver à cause d'une combinaison non compatible entre la forme et le mouvement, ou à cause d'émotions contradictoires. La plupart des personnes qui ont participé à l'expérience ont été confrontés à des sortes de juxtapositions non convergentes : *« un carré suspendu en fait mais dans la façon dont ça se comporte, on ne voit pas du tout ce carré suspendu »*. En outre, ces paradoxes peuvent ou non être admis. Dans le premier cas, les sujets apprécient les vidéos et expriment un sentiment de nouveauté et de créativité. Par exemple, certains ont déclaré : *« ce n'est pas réaliste de les mettre ensemble mais du coup ça me plaît bien, je trouve ça intéressant, je trouve ça créatif »*. Dans le deuxième cas, la

personne nie et rejette l'existence éventuelle d'objets sur l'animation présentée. Ainsi, certains ont pu déclarer : *« c'est un leurre », « ça ne représente rien de toute façon, ça n'existe pas ça, c'est pas possible... même si je voudrais savoir à quoi ça pourrait correspondre,... je ne vois pas du tout ! »*

### 5.1.2 Processus exploratoire

Globalement, nous avons constaté que tous les participants étaient profondément investis dans des processus d'exploration et de tentatives de compréhension de scènes visuelles, même lorsqu'ils se sont trouvés confronter à des difficultés de perception ou d'interprétation.

Le comportement cognitif des sujets peut être identifié par le repérage des parcours possibles dans l'arbre de stratégie exploratoire présenté dans la figure 7. Tout d'abord, tous les participants ont des comportements communs tels que la curiosité et le questionnement. Tout au long des expériences et pour toutes les animations qui duraient une heure ou plus, les sujets considéraient, à l'unanimité, les animations comme étant «intrigantes». Les personnes ont en permanence élaborer ce que nous avons appelé «des objectifs exploratoires». Nous avons distingué clairement entre les deux principaux comportements résultants de types opposés d'objectifs exploratoires : ceux émis par un raisonnement abstrait, tel que nous l'avons défini ci-dessus, et ceux émis par des références au monde réel. Dans les deux cas, les sujets entrent clairement dans le processus de comparaison de leurs résultats avec leurs schémas cognitifs préalables. A partir de ce processus, deux autres types de comportement se distinguent clairement : ceux où le sujet est confronté à une incompatibilité entre ses hypothèses et ses référents antérieures, et ceux pour lesquelles ils semblent compatibles. En cas de «compatibilité», les participants concluent habituellement en confirmant les hypothèses. Dans le cas de «l'incompatibilité», les sujets déclarent être confrontés à des paradoxes ou à des incompréhensions. Selon que la personne est dans une situation d'hypothèse, de paradoxe ou d'incompréhension, elle adopte une posture qui peut être soit d'appréciation, soit de rejet, soit d'interrogation, etc. Nous avons appelé ce processus « processus exploratoire » dans le graphique. Dans ce processus, nous avons constaté cinq comportements différents :

- Reprise de la quête avec le même raisonnement : ceci est observé aussi bien chez les personnes qui se trouvent face aux paradoxes et difficultés que chez ceux qui ne le sont pas. Recherche d'informations supplémentaires en répétant l'observation et en se concentrant sur les détails.
- Construction de scènes ou de configurations imaginaires : particulièrement lorsque la personne ne peut pas faire correspondre à l'image des objets du monde réel. Un participant a expliqué le comportement de deux triangles abstraits par cette image : *« à un moment donné, la personne qui tient les deux triangles commence à s'énervé un petit peu, et puis donc, elle secoue vraiment dans tous les sens »*.
- Construction de nouveaux concepts. On entend par là le fait de construire à partir d'éléments perçus une idée nouvelle ou un objet nouveau pouvant représenter ce qui est observé. Par exemple, une feuille en matière papier-caoutchouc : *« du papier caoutchouc »*, ou un dessin à la main dans un espace 3D : *« ça fait penser en fait, à un dessin fait à la main mais qui aurait une existence comme ça en trois dimensions dans l'espace du coup »*;
- Changements de stratégie d'observation : Ceci a été souvent observé lorsque la personne est confrontée à des



paradoxes et des difficultés. Alors, les participants peuvent commuter entre différents modes d'observation, par exemple basculer vers l'attention portée au mouvement au lieu de la forme lorsque celle-ci était plus difficilement identifiable.

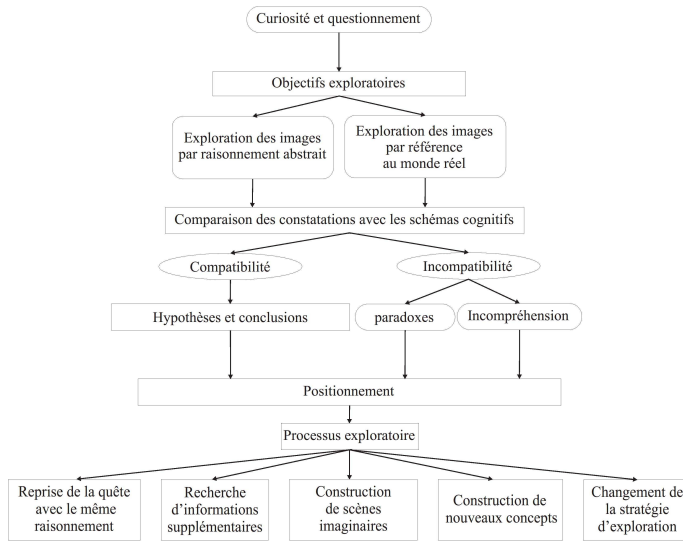


Figure 7 : Schéma de la stratégie exploratoire

La façon dont le sujet suit des parcours dans ce graphe n'est pas un processus linéaire, mais une sorte de plusieurs cycles entrelacés. Par exemple, quand un sujet fournit des hypothèses, il redémarre, à chaque fois, la boucle « constatation -> comparaison avec des schémas cognitifs -> évaluation ». Chaque personne, à partir de la classe du comportement principale, peut parcourir différents chemins opposés, même pour la même animation, par exemple : elle peut être amenée à une hypothèse compatible et une autre fois, à une hypothèse incompatible, et prend par conséquent des positions différentes. Ainsi, une personne peut également adopter différentes stratégies qui pourraient être contradictoires. Ceci indique que la personne est en permanente quête active, n'hésitant pas à inférer des hypothèses opposées. Par exemple, la même personne, à des moments différents, peut opter pour le processus exploratoire de construction de nouveaux concepts ou celui de changement de stratégie.

## 5.2 Les rôles de la forme et du mouvement dans le processus perceptif et cognitif

En plus des résultats sur les comportements communs globaux, les expériences fournissent des résultats précis sur la coopération forme - mouvement au niveau perceptif et cognitif.

Nous avons d'abord observé que les sujets se focalisent davantage sur le mouvement lorsque les formes sont simples et abstraites : « ça m'évoque rien de particulier, donc, là c'est plus le mouvement qui évoque des choses » ou « plus ils sont simples plus on prête d'attention aux relations qu'ils ont ». A l'inverse, la cohérence du mouvement est observée davantage lorsque la forme est moins figurative : « ça me dérange moins que l'autre, je voyais comme un être qui saccadait alors que là...c'est juste deux, pourquoi est-ce que ça serait pas saccadé alors que, puisque de toute façon, c'est deux barres, enfin, deux traits jaunes, il y a pas de raison qu'ils se déplacent de façon fluide ».

Parfois, les formes sont perçues de préférence quand ils sont en mouvement : « c'est l'ensemble des images, le mouvement général qui donne l'impression qu'on a un pli en fait [...], mais là dès qu'on arrête l'image, l'impression est perdue en fait, on voit un plan, quelque chose sur une surface, alors que dans le mouvement, on a une impression de profondeur en fait ». Ceci est une caractéristique classique bien connue soulignant l'importance du mouvement lorsque les formes sont indéterminées, comme quand elles sont composées d'un ensemble de points. Réciproquement, lorsque les formes sont suffisamment structurées, de manière à ce qu'on reconnaisse une « chose », existante ou non, elles peuvent apparaître clairement, et de préférence, quand elles sont immobiles, comme raconté ici : « ... dès que j'ai plus l'impression que ça bouge, je vois l'objet dans son ensemble en fait ». Sans surprise, lorsque les formes sont plus figuratives, elles sont choisies de préférence pour soutenir l'évocation : Par exemple : « ... la forme me renvoie, me renvoie à quelque chose que je vais imaginer et si j' imagine rien forcément ça ne me donne rien comme sentiment et pour moi c'est plus lié la forme que le mouvement ». Cela conduit à la prédominance des formes lorsqu'elles sont proches de figurations d'objets connus, même si les mouvements sont trop réalistes.

Étonnamment, l'accent mis sur la forme peut également être lié à sa nature et non pas nécessairement à sa puissance figurative, comme révélé ici : « j'ai pensé beaucoup à la forme parce que je l'ai trouvé un peu pauvre, c'était contradictoire ». L'intérêt pour des formes qualifiées de « un peu pauvres » signifie qu'elles excitent mieux la curiosité lorsqu'elles sont inhabituelles. Il en est ainsi dans l'extrait : « c'est chouette ! », « c'est joli », « j'aime bien cette forme », surtout quand la forme apparaît comme moins figurative. Cependant, l'aspect pauvre peut également être contrebalancé par le mouvement : « ce côté dénué mais avec un mouvement vachement complexe quelque part, c'était assez sympa ».

Cependant, de manière inattendue, l'intérêt pour les formes, en particulier lorsque celles-ci sont abstraites, augmente lorsque les mouvements sont perçus comme présentant des irrégularités ou des incohérences. « on est plus captivé par justement ces pyramides que par les triangles qui tournent régulièrement ». On peut noter également que les incohérences, aberrations ou irrégularités proviennent uniquement de l'interprétation des sujets car les mouvements produits sont toujours cohérents car nous n'y avons en effet introduit aucun paradoxe volontaire : « je trouve qu'elle ne fonctionne pas [...] il y a des changements de vitesse et de direction qui paraissent complètement disproportionnés par rapport au type de contact ».

Symétriquement, lorsque la cohérence du mouvement est révélée c'est le mouvement lui-même qui est utilisé comme source d'évocation et d'imagination, presque indépendamment de la forme. Ce fut le cas d'une dynamique évoquant des objets réels, comme des oiseaux par exemple, alors que les formes étaient différentes : « Des oiseaux qui sont représentés par autre chose, par des objets ». Lorsque la cohérence du mouvement est détectée, alors la référence au monde réel s'exprime clairement, mais en termes de « forces » ou « d'énergie » qu'en « objets » : « on a le sentiment que les forces qui sont en présence sont des forces familières des choses dont on a l'expérience ».

Nous pouvons remarquer peut être jugée dans la manière dont elle sert le mouvement, comme cela est illustré dans les phrases suivantes : « je l'imagine plus sous cette forme que sous l'autre parce que là on voit vraiment le côté suspendu », ou « si on traduisait le mouvement qu'on a eu dans les premiers exemples sous forme de courbe on aurait des courbes pleines d'aspérités ».

avec une direction globale mais pleine de petits détails d'oscillation, [...] alors que là au contraire c'est quelque chose d'extrêmement fluide ».

Cependant, les formes peuvent également masquer des mouvements, et ce, jusqu'à les faire paraître « insensé », bien qu'ils aient pu être perçus comme très cohérent avec un autre habillage. Réciproquement, les formes peuvent aussi induire des perceptions de mouvements inexistantes comme indiqué explicitement dans la citation suivante : « il y a un mouvement qui naît de l'information qu'apporte l'habillage en fait, j'ai l'impression ».

La topologie spatiale, comme par exemple le fait qu'il y a une ou plusieurs choses visuelles disjointes, joue un très grand rôle dans la perception de la scène. Ainsi, les choses évoquées peuvent être radicalement différentes pour le même mouvement en fonction de ce critère : « une chemise de travail, un bébé dans le ventre », « des colliers, des boules de bois », « tente à l'envers, un linge de maison ».

De la même manière, lorsque l'attention se porte plutôt sur le mouvement, celui-ci déclenche de nombreux sentiments d'ordre émotionnels ou esthétiques : « ils sont contents [...] c'est paisible », « gai comme mouvement [...] mouvement joyeux », « je trouve le mouvement général assez relaxant » mais je l'aime pas la séquence en mouvement en fait. Je ne sais pas pourquoi. [...] C'est que ça me perturbe », « Captivée, oui, une fois qu'on a compris le mouvement... ».

Enfin, lors des tentatives d'identifier les matériaux, des paradoxes apparaissent comme le fait d'identifier un matériau à partir du mouvement (par exemple mou ou extensible) et d'autres à partir des formes ou des couleurs, comme par exemple un matériau plus dur avec des plis marqués.

En résumé, ces observations nous ont montré que :

- Dans le cas général, on ne peut pas identifier une modalité – de la forme ou du mouvement – qui soit dominante. Les sujets ne distinguent pas nécessairement explicitement les influences respectives du mouvement ou de la forme dans ce qu'ils perçoivent. Cependant, l'un et l'autre jouent sur des registres différents et sur des degrés divers d'attention.
- En effet, nous avons pu observer que le mouvement stimule davantage les aspects sensibles et émotionnels.
- Enfin, dans les cas où l'attention est captée par le mouvement, la personne est plus enclins à remarquer la similitude entre les mouvements, se rapprochant tendanciellement vers le fait que les mouvements sont identiques mais sans jamais cependant à être capable de déclarer explicitement.

### 5.3 Comparaison avec l'objet virtuel réellement implémenté

Parmi les 10 sujets, deux d'entre eux n'ont fait aucune référence proche de la réalité objective. Ces deux personnes ont également un autre point commun qui n'existe pas chez les autres participants, c'est le fait qu'ils n'ont pas eu recours au raisonnement abstrait tout au long de l'expérience. Ce qui nous amène à croire que l'abstraction des phénomènes observés est un paramètre qui joue un rôle important dans la distance avec la réalité objective. Globalement, cette distance est variable en fonction du sujet. Cependant, nous constatons que la focalisation de l'observation sur le mouvement et le raisonnement abstrait permettent aux participants de se rapprocher du véritable processus de construction des animations.

## 6. Conclusion

Dans ce travail, nous avons étudié le comportement cognitif humain face à des animations virtuelles conçues par un nouveau processus. Ce procédé, qui est l'habillage de mouvements plutôt réalistes par des formes plutôt abstraites crée des images animées inhabituelles pour le spectateur, en particulier très peu narratives ou explicitement réalistes ou imaginaires. Ce genre d'images n'a pas détourné les personnes de l'expérience. Au contraire, les gens les ont explorés dans une attitude de perception créative. Par ailleurs, l'influence à la fois de la forme et du mouvement sur la perception, dans de telles associations intrigantes, révèle que le rôle des deux composantes sur la perception est très variable et dépend des influences réciproques entre elles. Bien que cette première série d'observations devrait être élargie et confirmée, elle tend à montrer que nous pouvons augmenter la créativité des outils d'animation. En termes de créativité, les résultats des expériences montrent que ce type d'animations, qui sont non seulement acceptables mais aussi appréciées, peut ouvrir de nouvelles perspectives au-delà de la seule notion de réalisme.

## Remerciements

Ce travail a été soutenu par l'Agence nationale de la recherche française dans le programme de recherche « Contenus et Interactions » - Projet DYNAMÉ 09 CORD 007 2.1.03. Un grand merci à notre collègue Emmanuelle Darles pour son aide dans la production de l'animation.

## Références

- [Evrard et al. 2006] M. Evrard, A. Luciani, N. Castagné. « MIMESIS: Interactive Interface for Mass-Interaction Modeling ». Evrard, M., Luciani, A., and Castagné, N., *CASA'06 proceedings*, Computer Graphic Society, pp 177-186, 2006.
- [Darles et al. 2011] E. Darles and S. Kalantari and X. Skapin and B. Crespian and A. Luciani. Hybrid Physical - Topological Modeling of Physical Shapes Transformations. *Proceedings of CASA 2011*.
- [Autodesk 2009] Autodesk Maya 2010: the modeling & animation handbook. MP AUTODESK – 2009.
- [Luciani et al. 1997] A. Luciani, A. Godard. « Simulation of Physical Object Construction Featuring Irreversible State Changes », *Proc of WSCG, Plzen, Czech republic*, Ed by N. Magnenat-Thalmann & V. Skala, Feb 1997, pp321-330
- [Flick 2002] U. Flick. Qualitative research-state of the art. *Social science information*, pages 5–24. 2002.
- [Flick 2000] U. Flick, E. Kardoeff, and I. Steinke. *Qualitative Forschung – Ein Handbuch*. 2000.
- [Hancock 2002] B. Hancock. An introduction to qualitative research, 2002. Series produites par the Trent Focus Group.
- [Henry et al. 1968] P. Henry and S. Moscovici. Problèmes de l'analyse de contenu. *Langages*, (11), 1968.
- [Stewart et al. 2010] J. Stewart, O. Gapenne, E. A. Di Paolo. « Enaction : Toward a new paradigm for cognitive science. MIT Press. 2010
- [Luciani et al. 2007] A. Luciani, A., S. O'Mondrain, C. Magnusson, J.L. Florens, D. Couroussé. "Perception of virtual multisensory mobile objects: wandering around the enactive assumption", *Enactive / 07 enaction\_in\_arts Proceedings of the 4th International Conference on Enactive Interfaces 2007*, ACROE, pp 153-156, 2007
- [Brien et al. 2002] J. O'Brien, A. W. Bargteil, and J. K. Hodgins, "Graphical modeling and animation of ductile fracture," in *Proc. 29th ACM SIGGRAPH Intl. Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH '02)*, New York, NY: The Association for Computing Machinery, Inc., 2002, pp. 291-294.